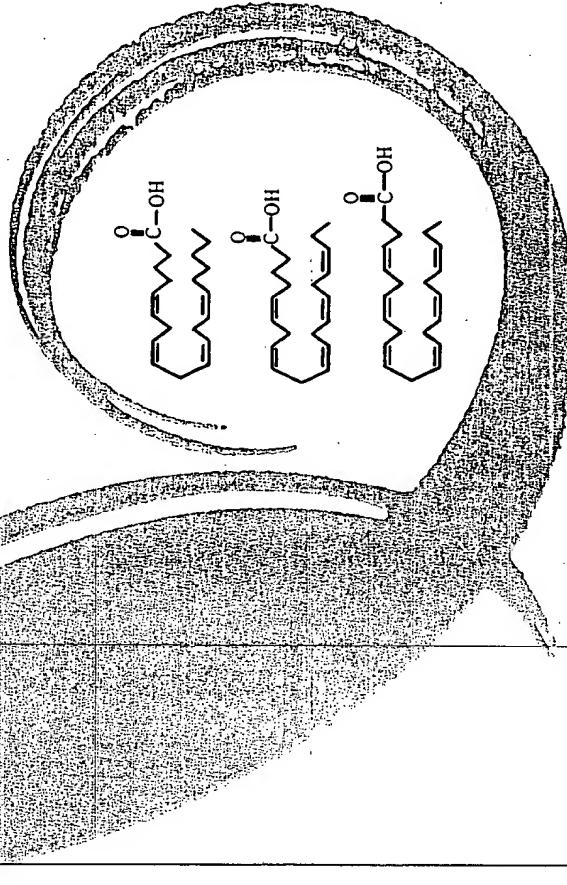


AA, EPA, DHA —高度不飽和脂肪酸

鹿山光編

Document H



恒星社厚生閣

脂質でこのような需要に応えられるものとしては、藻類の脂質が有望視されている。藻類は一般に、培養が容易で増殖率も高く、かつ脂質含量も高いことから、バクテリアを含む多くの菌種について探索が行われている。その結果、いくつかの有望な菌株が見出され、工業的な規模での生産が可能な段階に至っている。

いままでに、植物や藻類における脂肪酸の分布パターンがかなり明らかにされたとはいって、まだ未知な部分や未開拓の分野が残されている。一般に AA, EPA, DHA などの高不飽和脂肪酸は、藻類とくに海藻類や一部の菌類に分布している。これらの比較的下等な生物では、培養条件によって著しく脂肪酸パターンが変化する例が多いことはよく知られている。また *Mortierella* 菌で行われているように、いろいろなバイオテク技術を駆使して、さらに有望な油脂資源を開発し得る可能性もある。

このようなことから、今までにどんな植物や藻類で脂肪酸組成が調べられており、どんな脂肪酸がどの程度分布しているかを概観することは意義深いことと思う。

§1. 藻類の脂肪酸

藻類は地衣類のように菌類と共生生活を営む特殊な例を除けば、すべて水中にその生活域がある。地球上における水圏の占める割合は、陸圏に比べてはるかに大きく、したがって藻類の生活範囲は極めて広く、かつ多様性に富む。また藻類はその光合成能を通じて、海洋、陸水いずれにおいても一次生産者としてそれぞれの生態系において重要な位置を占める。それゆえ生態学的な関心からと水産動物に対する餌料価値についての関心とから、多くの藻類について脂肪酸組成が分析されている。このような研究結果により、藻類の各分類群の間での脂肪酸の分布パターンがかなり明らかになっている。一般に、藻類には AA, EPA, DHA などの有用な高不飽和脂肪酸を含むものが多い。ここではいままでに調べられたいろいろな藻類の脂肪酸組成を示し、各藻類間でどんな脂肪酸がどのように分布しているかを概観する。

1-1 藍藻類（表 2-1）
藍藻類では Holton ら (1964), Levin ら (1964) により, *Anacystis ni-*

2. 植物界における高不飽和脂肪酸の分布

dulans, *Anabaena variabilis* で、それぞれ脂肪酸組成が調べられて以来、多くの研究者によって、いろいろな藻類で研究が進められている。

藍藻類の脂肪酸組成は主として C_{16} , C_{18} 酸からなり、 C_{18} 以上の鎖長をもつた。

表 2-1 藍藻類各種の全脂質の脂肪酸組成

Algal species	14 : 0	16 : 0	16 : 1	16 : 2	18 : 1	18 : 2	ω6	18 : 3	ω3	18 : 4	出典
<i>Anacystis nidulans</i>	1	46	46	—	3	—	—	—	—	—	(1)
<i>Anabaena variabilis</i>	—	32	22	1	11	17	—	16	—	—	(1)
<i>Nostoc muscorum</i>	2	32	15	—	7	10	—	21	—	—	(4)
<i>Spirulina platensis</i>	—	44	10	tr	5	13	22	tr	—	—	(2)
<i>Synechocystis 6714</i>	tr	28	4	—	5	17	31	—	—	—	(5)
<i>Tolyphothrix tenuis</i>	1	22	3	—	16	15	13	6	11	—	(3)
<i>Phormidium</i> sp.	1	18	9	—	21	32	—	1	2	—	(4)

出典：(1) Sato ら (1979), (2) Nichols ら (1968), (3) Kenyon ら (1972), (4) Holton (1964), (5) Kenyon (1972).

った脂肪酸はまだ知られていない。飽和酸はいずれの種においても 16 : 0 が主要要素であるが、不飽和酸は藻類によってそれぞれ特徴的なパターンを示す。

Kenyon (1972), Kenyon ら (1972) は含まれる不飽和酸のパターンから、藍藻類を 4 つのグループに分けられた。すなわち、(1)*Anacystis nidulans* のようにモノエン酸のみを含むもの、(2)*Anabaena variabilis* のように 18 : 2 と 18 : 3 ω3 を含むもの、(3)*Spirulina platensis* のように 18 : 3 ω6 を含むもの、(4) 18 : 3 に加えて 18 : 4 をも含むもの (*Tolyphothrix tenuis*)。

1-2 紅藻類（表 2-2, 2-3）

紅藻類の脂肪酸組成は、Pohl ら (1968), Jamieson and Reid (1972), Araki ら (1994), Khotimchenko and Vaskovsky (1990), Levy ら (1992) など多くの研究者により、いろいろな紅藻類で分析されており、その脂肪酸分布のパターンはよく知られている。表 2-2 に代表的な紅藻類の脂肪酸組成を示した。大型の紅藻類では一般に、 C_{18} の不飽和脂肪酸が少い一方、 C_{20} の多不飽和脂肪酸の含量、とくに 20 : 4 ω6, 20 : 5 ω3 が多量に存在する。

Khotimchenko and Vaskovsky (1990) は、 C_{18} の高不飽和脂肪酸の含量のパターンから、(1) EPA 含量が高いもの、(2) AA 含量が高いもの、(3) EPA と AA がほぼ等量含まれるもの、の 3 つのグループに分けられたとした。その後、Araki ら (1994) は *Meristotheca papulosa* をはじめミリン科に属す

る日本産の藻類に C_{18} の不飽和酸を多量に含むことを見出し、4つのグループに分けられたことをみた。さらに最近、Levy ら (1992) は、*Hypnea musciformis* に $22:6\omega 3$ (6%) が、*Alsidium corallinum* に $18:3\omega 6$ (10%) がそれぞれ検出されたと報告しており、紅藻類の脂肪酸パターンはかなり多様性を示すことが推察される。

表 2-2 紅藻類各種の全脂質の脂肪酸組成

Algal species	14:0	16:0	16:1	18:1	18:3 $\omega 6$	18:3 $\omega 3$	20:4 $\omega 6$	20:5 $\omega 3$	出典
<i>Alsidium corallinum</i>	5	33	8	14	10	—	10	5	(1)
<i>Baltachospernum</i> sp.	2	27	2	8	1	—	5	52	(2)
<i>Chondrus ocellatus</i>	4	35	1	8	1	—	24	22	(2)
<i>Corallina officinalis</i>	2	24	3	5	1	1	6	52	(6)
<i>Gelidium amansii</i>	2	29	1	5	—	—	32	28	(2)
<i>Gloiocepheltis furcata</i>	2	24	3	9	1	—	9	47	(2)
<i>Gracilaria verrucosa</i>	2	31	2	5	1	—	54	2	(3)
<i>G. gigas</i>	2	30	2	8	1	—	12	38	(3)
<i>Hypnea musciformis</i> ^a	5	22	12	9	2	2	10	11	(1)
<i>Laurencia pinnatifida</i>	4	21	4	8	1	3	6	35	(6)
<i>Meristotheca papillosa</i> ^b	1	22	12	5	1	1	11	33	(2)
<i>Odonthalia dentata</i>	3	27	2	11	1	tr	13	38	(6)
<i>Porphyra yezoensis</i>	—	26	3	4	1	—	2	52	(4)
<i>Porphyridium cruentum</i> ^c	—	35	3	2	tr	tr	16	36	(5)
<i>P. cruentum</i> ^d	—	34	tr	2	tr	tr	42	8	(5)
<i>Rhodomella subfusca</i>	4	29	5	15	—	1	14	24	(7)

a) also contained $22:6\omega 3$ (6%), b) also contained $16:3$ (11%)

c) cultured under optimal growth condition, d) cultured under limited growth condition

出典: (1) Levy ら (1992), (2) Araki ら (1993), (3) Araki ら (1990) (4) Araki ら (1986), (5) Cohen ら (1988), (6) Jamieson and Reid (1972), (7) Klenk ら (1963).

表 2-3 紅藻スザビノリの各脂質クラスの脂肪酸組成

	MGDG	DGDG	SQDG	PG	PC	PE	TG
16:0	13	38	50	31	10	.2	13
16:1 ^e	—	—	—	15	—	—	—
18:1	4	7	1	1	5	2	10
18:2	1	4	—	—	4	1	7
18:3 ^f	1	—	—	—	3	2	1
18:3 ^g	—	—	—	—	1	—	—
18:4	—	—	—	—	3	1	1
20:1	1	1	—	—	15	1	4
20:2	1	1	—	—	5	1	4
20:3	3	2	—	—	3	8	8
20:4 ^h	2	1	1	1	6	16	11
20:5 ⁱ	74	46	48	30	65	60	41
Araki ら (1986), 16:1 ^j ; trans-18:3-16:1							

a) also contained $16:1$ (12%)

出典:

(1) Beach ら (1970), (2) Chuecas and Riley (1969), (3) Ahlgren ら (1992).

b)

c)

d)

e)

f)

g)

h)

i)

j)

k)

l)

m)

n)

o)

p)

q)

r)

s)

t)

u)

v)

w)

x)

2. 植物界における高密度不飽和脂肪酸の分布

formis に $22:6\omega 3$ (6%) が、*Alsidium corallinum* に $18:3\omega 6$ (10%) がそれぞれ検出されたと報告しており、紅藻類の脂肪酸パターンはかなり多様性を示すことが推察される。

表 2-3 はスザビノリ (*Porphyra yezoensis*) の各脂質クラスの脂肪酸組成を示したものである。スザビノリに含まれる主要な高密度不飽和脂肪酸は $20:5\omega 3$ と $20:4\omega 6$ であるが、前者はすべての脂質クラスにおいて高い含量で存在し、とくに MGDG*^j と PC*, PE*, TG*^k に多量に分布している。

これに対して、 $20:4\omega 6$ は主として PC, PE, TG*^l により多く分布して

いる。紅藻類では、一般に PE の不飽和度が高く、ほとんど不飽和脂肪酸のみ

で構成されている。

1-3 クリプト藻類 (表 2-4, 2-5)

単細胞で細胞壁をもたない種が多い、クロロフィル a, c とともにフイコビリン色素を含み、紅藻類と珪藻類など褐色植物 (Chromophyte algae) の性質を併せもつ、また他の藻群で主要なカロチシンになっている β-カロチシンが少く、α-カロチシンより含むほど、種々な点でユニークな藻群である。

クリプト藻の脂肪酸組成は、Chuecas and Riley (1969) および Beach ら

表 2-4 クリプト藻類各藻の全脂質の脂肪酸組成

Algal species	14:0	16:0	18:1	$\omega 6$	$\omega 3$	18:4 $\omega 3$	$\omega 3$	20:1	$\omega 6$	$\omega 3$	20:4 $\omega 3$	$\omega 3$
<i>Chilononas paramectum</i>	18	18	9	—	—	27	—	—	—	—	6	3
<i>Chirononas</i> sp.	2	16	5	1	—	23	—	—	—	—	14	6
<i>Cryptomonas</i> sp. WH(1)	6	4	5	—	7	44	—	—	—	—	16	10
<i>C. malculata</i>	5	15	4	—	6	16	17	—	—	—	17	—
<i>C. sp.</i>	2	11	2	—	10	22	—	—	—	—	21	7
<i>C. appendiculata</i> ^m	5	15	4	—	12	13	10	3	—	—	10	—
<i>Heimstetia virgescens</i>	8	23	7	—	22	16	—	—	—	—	7	2
<i>H. brunescens</i>	1	21	2	tr	8	31	18	tr	14	—	—	(2)
<i>Rhadomonas lens</i>	18	13	10	—	16	13	—	—	—	—	13	5
<i>R. lacustris</i>	2	15	4	—	21	21	—	—	—	—	11	4

a) also contained $16:1$ (12%)

出典: (1) Beach ら (1970), (2) Chuecas and Riley (1969), (3) Ahlgren ら (1992).

b)

c)

d)

e)

*1 モノガラクトシル・ジアシル・グリセロール

*2 ホスファチジルコレsterol

*3 ホスファチジルエタノールアルミン

*4 トリアルギセロール

A.A, EPA, DHA-高級不飽和脂肪酸

の稚魚の育成のために、その餌料となるワムシなどの培養が不可欠である。

Nannochloropsis 属のいくつかの藻種が、このワムシの培養に際して良好な飼料効果をもつことがわたり、この藻を中心にして製造された飼料が市販されており、広く利用されている。

Nannochloropsis 属の主要脂肪酸は、14:0, 16:0, 16:1 ω 7, 20:5 ω 3であるが、20:5 ω 3は培養温度によってその含量が著しく変化し、表2-16に示したように *N. oculata* では 25°C で培養したものは、20°C で培養したものより著しく減少する(瀬戸、1993)。飼料藻としての *N. oculata* の 20:5 ω 3 の含量は、ワムシを通じて稚魚の生育に大きな影響を及ぼし、20:5 ω 3 の含量の少い飼料藻で培養したワムシで飼育した稚魚の成長は低下するといわれている。

1-11 ブラシノ藻類(表2-17)

光合成色素の組成や葉緑体構造は緑藻類に類似するが、光合成の一次産物や細胞壁の糖組成、鞭毛の微細構造が異なることから独立した藻群に分類されている。

表 2-17 ブラシノ藻類各種の全脂質の脂肪酸組成

Fatty acid	<i>Halotheatra viridis</i>	<i>Heteromastix rotunda</i>	<i>Phylogenys tetraphela</i>	<i>Tetraselmis suecica</i>
•	18	11	11	11
16:0	18	11	11	11
16:1	1	16	4	2
C16 poly	3	8	20	3
18:1	45	2	13	24
18:2 ω 6	7	3	12	2
18:3 ω 3	7	4	16	17
18:4 ω 3	7	9	8	—
20:5 ω 3	tr	28	4	11
22:5 ω 3	—	7	13	—

出典 : (1) Ackman ら (1970), (2) Chuecas and Riley (1969),

(3) Pohl ら (1968), (4) DeMort ら (1972).

ブラシノ藻に属する藻種の脂肪酸組成は、緑藻類のうち海産種のそれに類似し、20:5 ω 3 や 22:5 ω 3 など ω 3 系列の高級不飽和脂肪酸を多量に含むものがある。

2. 植物界における高級不飽和脂肪酸の分布

1-12 緑藻類(表2-18, 2-19)

緑藻類は淡水や海水中に普通にみられ、クロレラ (*Chlorella*) やセネデスマス (*Scenedesmus*) のように、単細胞で浮遊生活を営むものや、クラミドモナス (*Chlamydomonas*) のように鞭毛をもつ单細胞種、さらにアオサ、アオノリのように海藻のやや大型のものまで、いろいろな形態を示す藻種が存在する。

表 2-18 緑藻類各種の全脂質の脂肪酸組成

Algal species	14:0	16:0	16:1	16:2	18:0	18:2	18:3	18:4	20:0	20:5	22:0	22:5	出典
<i>Microphytic forms</i>													
<i>Chlorella regularis</i>	1	17	3	18	—	7	4	37	9	—	—	—	(1)
<i>C. pyrenoidosa</i>	—	20	3	tr	7	—	46	10	12	—	—	—	(2)
<i>Chlamydomonas reinhardtii</i>	1	20	3	1	—	—	24	5	31	—	—	—	(3)
<i>Dunaliella tertiolecta</i>	1	13	10	3	5	7	8	6	8	—	—	10	(4)
<i>Scenedesmus obliquus</i>	1	35	2	1	tr	15	8	6	30	—	—	—	(2)
<i>Macrophytic forms</i>													
<i>Bidlingia minima</i>	1	21	3	1	2	14	4	7	13	17	3	(5)	
<i>Cladophora abita</i>	6	18	16	1	1	7	9	3	14	4	12	(6)	
<i>Codium elongata</i>	4	11	10	3	2	—	18	10	16	5	4	(7)	
<i>C. fragile</i>	2	26	3	3	9	—	11	9	15	1	3	(5)	
<i>Enteromorpha linza</i>	1	30	2	tr	1	10	7	9	17	11	2	(5)	
<i>E. intestinalis</i>	1	13	3	1	3	16	9	6	21	17	2	(6)	
<i>Ulva fenestrata</i>	10	18	6	2	3	—	26	13	5	2	4	(7)	
	1	30	2	1	2	9	11	10	15	6	2	(5)	

出典 : (1) Watanabe ら (1978), (2) Klenk ら (1963), (3) Erwin and Bloch (1963) (1972), (7) Pohl ら (1968), (4) Chuecas and Riley (1969), (5) Khotimchenko (1963), (6) Jamieson and Reid (1972), (7) Pohl ら (1968).

緑藻類の脂肪酸組成は、いままでに比較的よく調べられている。単細胞藻では、Chuecas and Riley (1969), Klenk ら (1963), Nichols (1965), 大型藻では Pohl ら (1968), Jamieson and Reid (1972), Kanenawa ら (1987), Khotimchenko (1993) などによる報告がある。

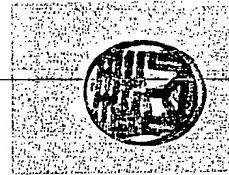
表2-18に緑藻類の主な藻種の脂肪酸組成を示す。*Chlorella* や *Scenedesmus* 属のような淡水産の単細胞藻では、飽和酸は 16:0, 不飽和酸は 16:1 と C₁₈ のポリエン酸, 18:1, 18:2 ω 6, 18:3 ω 3 が主な構成酸で、鞭毛をもった淡水産藻 (*Chlamydomonas* 属) では 18:3 ω 6 を含むものがある。一方、海

ま 行	卵試験誘起作用 藍藻類 リゾPAF 律速因子	93 12 117 195
まくろカブセル化	219, 220	199
眞	リノール酸 ——からアラキドン酸への代謝	233 140 216, 217
——の流動性	48, 123, 156, 160	——系列 (ω.6)
マクロファージ	48	——系列 (ω.6-n.6)
マスキング	48	α-リノレン酸からエイコサヘキサエン酸へ
Max EPA	69	の代謝
Malondialdehyde (MDA)	153	49
ミエリン	60	——の系列 (ω.3)
Mycobacterium	133, 134	56
ミコール酸	131, 132	α-リノレン酸 (ω.3あるいはn-3) 系列
——含有糖脂質	133	60
明暗弁別	231, 234	α-リノレン酸の代謝経路
——学習能試験	234	50
メチレン中斷型	45	リバーゼ
——多不飽和脂肪酸	57	リボキシダーゼ
免疫	68, 82, 96, 108, 174, 207, 208, 209, 210	68, 82, 96, 108, 174, 207, 208, 209, 210
免疫反応 (アレルギー)	131	——阻害剤
網膜	172	163 ——代謝経路
尻り臭	229	73, 84 リボキシン (LX)
モノオキシダーゼ反応	216	82, 105, 213 ——LXA ₄
モノグリセリド	98	——LXB ₄
モノ不飽和脂肪酸の生合成経路	220, 221	緑藻類
Morierella alpina	54	27 リン脂質
や 行	9, 225	196, 197, 199, 200 ——性過酸化ニ次成継体
薬剤耐性	166	123 ——ヒドロペルオキシド
· 有糸分裂発因子感染	52	122 レシチン
融点	189	142, 217, 218 Recommended Dietary Allowance
溶媒	189	49 ロイコトリエノ (LT)
老人性痴呆	189	82, 96, 172, 174 ——B ₄
ら 行	31	老人性痴呆
卵子輸卵管	36	228 Y迷路型学習実験 ワムシ
卵母細胞	26, 222	26, 222

1995年 9月30日 初版発行

AA, EPA, DHA-高密度不飽和脂肪酸

定価 カバーに表示



編 者 鹿 山 光 ○

発行者 佐竹久男
発行所 恒星社厚生閣
東京都新宿区三栄町8
電話 03(3359)7371(代)
振替 東京0-59600番
Fax 03(3359)7375

